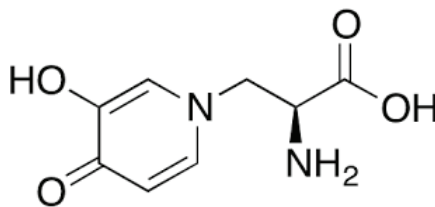


# BAB 9

## MIMOSIN

### 9.1 Struktur dan Karakteristik Mimosin

Mimosin merupakan asam amino bukan protein yakni  $\beta$ -(3-hidroksi-4-piridon-1-yl)-L-alanin, dan secara struktur kimia serupa dengan asam amino tirosin (Gambar 29). Senyawa ini pertama kali diisolasi dari tanaman *Mimosa pudica* sehingga dinamakan mimosin. Lamtoro (*Leucaena leucocephala*) merupakan hijauan khas yang tinggi akan kandungan mimosin. Daun lamtoro mengandung 2–10% mimosin (basis bahan kering), sedangkan biji lamtoro mengandung 2–5% mimosin. Kandungan mimosin berbeda antara daun yang muda dan daun tua; umumnya daun muda mengandung mimosin dengan konsentrasi yang lebih tinggi. Daun tua mengandung 1–2% mimosin, sedangkan daun muda mengandung 3–5% mimosin. Bahkan pada daun yang sangat muda, kandungan mimosin dapat mencapai 12%.



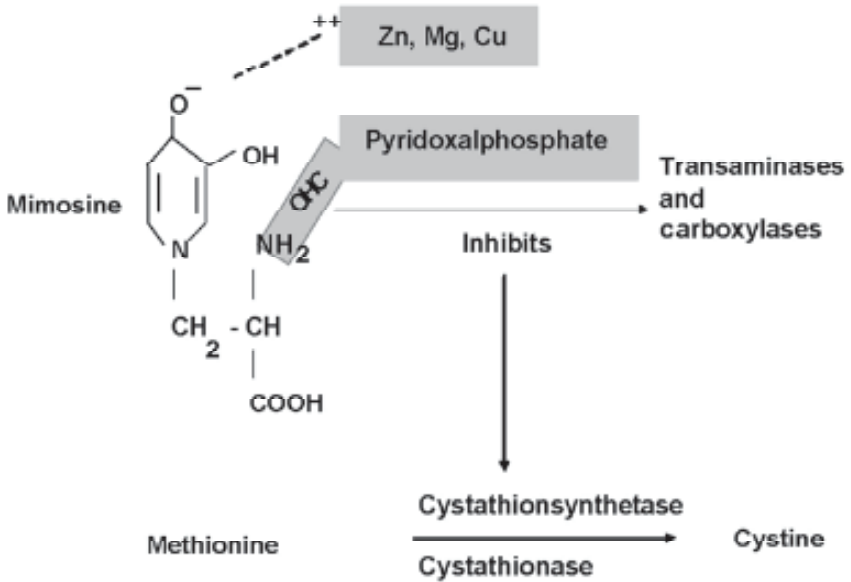
**Gambar 29** Struktur kimia mimosin

Keberadaan mimosin pada lamtoro membatasi penggunaan hijauan tersebut sebagai pakan karena mimosin bersifat toksik pada berbagai spesies ternak, baik hewan monogastrik maupun ruminansia. Mimosin dapat dikonversi menjadi 3-hidroksi-4-(1H)-piridon (3,4-DHP) dan 2,3-dihidroksipiridin (2,3-DHP) oleh mikroba rumen (Gambar 30). Sejumlah enzim pada tanaman juga dapat

Buku Ajar

**Komponen Antinutrisi pada Pakan** .....



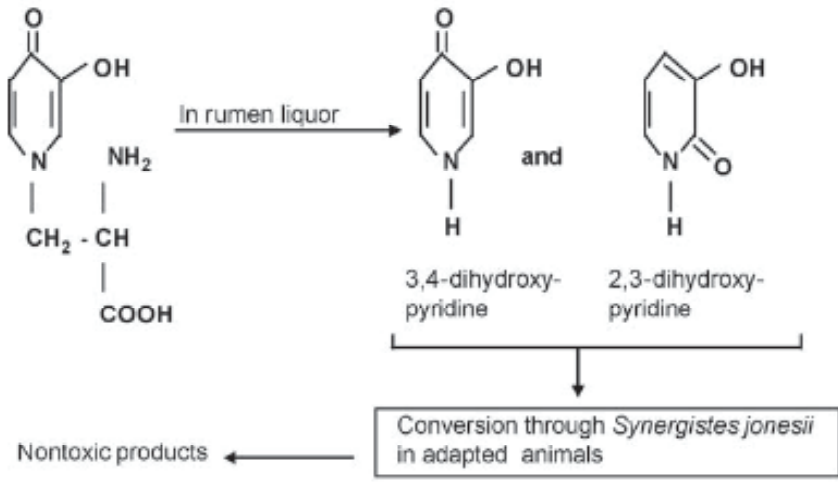


**Gambar 31** Mekanisme aksi mimosin

(Sumber: Makkar *et al.* 2007)

## 9.3 Adaptasi dan Detoksifikasi Mimosin

Pada awalnya, keracunan mimosin terjadi pada ternak ruminansia di negara Australia, Papua Nugini, beberapa negara Afrika, dan negara bagian Florida di USA. Namun demikian, keracunan ini tidak terjadi pada ternak ruminansia di sejumlah negara, khususnya yang berada di daerah tropis. Setelah melalui sejumlah rangkaian penelitian, ternak yang dapat beradaptasi terhadap lamtoro yang mengandung mimosin memiliki mikroba yang terdapat pada rumennya, di mana mikroba tersebut mampu memetabolisasi mimosin dan DHP menjadi sejumlah senyawa yang tidak toksik. Mikroba tersebut kemudian dinamakan *Synergistes jonesii* (Gambar 32). Transfer cairan rumen dari ternak ruminansia di Indonesia dan Hawaii yang mengandung *Synergistes jonesii* pada ternak ruminansia di Australia (melalui proses inokulasi) dapat menghilangkan permasalahan keracunan mimosin pada lamtoro.



**Gambar 32** Bakteri *Synergistes jonesii* yang mampu mengkonversi mimosin dan DHP menjadi senyawa nontoksik di rumen

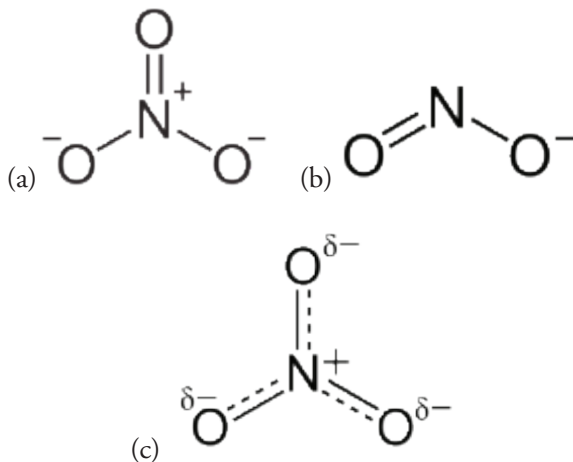
(Sumber: Makkar *et al.* 2007)

# BAB 10

## NITRAT DAN NITRIT

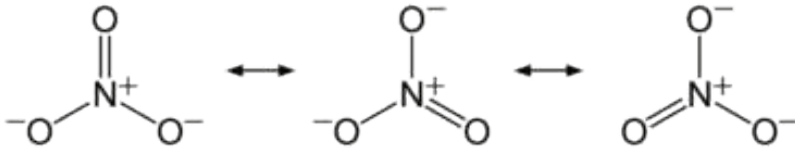
### 10.1 Karakteristik Kimia Nitrat dan Nitrit

Nitrat merupakan ion poliatomik dengan rumus molekul  $\text{NO}_3^-$  yang dapat direduksi menjadi nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) (Gambar 33 a dan b). Berat molekul nitrat berkisar 62,0049 g/mol. Molekul ini hadir dalam bentuk anion yang bermuatan total negatif sebesar -1. Anion nitrat ini merupakan basa terkonjugasi dari asam nitrat, yang terdiri dari satu atom nitrogen di bagian tengah dan dikelilingi oleh tiga atom oksigen dengan jenis ikatan yang identik. Muatan -1 berasal dari gabungan tiga oksigen yang masing-masing bermuatan  $-2/3$  dan nitrogen yang bermuatan +1 (Gambar 33).



**Gambar 33** Struktur kimia (a) nitrat, (b) nitrit, dan (c) muatan ionik pada nitrat

Dengan struktur ion serta kombinasi ikatan tunggal dan ganda menghasilkan struktur yang memiliki kemampuan beresonansi (Gambar 34). Pada suhu dan tekanan udara normal, nitrat bersifat larut dalam air.



**Gambar 34** Anion nitrat yang beresonansi menjadi tiga macam struktur molekul yang berbeda

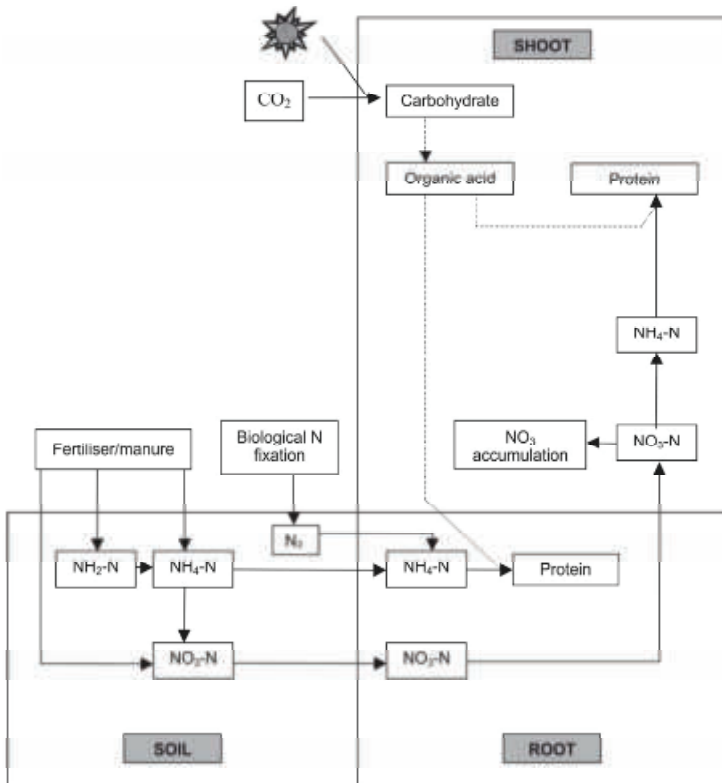
## 10.2 Sumber Nitrat dan Nitrit

Meskipun akar tanaman mengambil nitrogen (N) baik sebagai ion amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), dalam sebagian besar kondisi tanah penyerapan  $\text{NO}_3^-$  mendominasi proses ini. Setelah diserap oleh akar tanaman,  $\text{NO}_3^-$  direduksi oleh enzim reduktase menjadi  $\text{NH}_4^+$ , yang selanjutnya berasimilasi menjadi senyawa organik seperti protein. Namun, ketika laju serapan melebihi tingkat reduksi  $\text{NO}_3^-$ , maka akan terjadi akumulasi  $\text{NO}_3^-$  di dalam tanaman (Gambar 35). Hewan ruminansia dengan kadar  $\text{NO}_3^-$  tinggi dalam asupan makanannya mengakumulasi nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ). Nitrit diserap ke dalam darah dan bergabung dengan hemoglobin untuk membentuk methemoglobin. Kondisi ini dikenal sebagai keracunan nitrat (*methemoglobinaemia*). Beberapa bahan yang banyak mengandung nitrat di antaranya adalah bayam, sorgum, dan rerumputan.

Keracunan nitrat terjadi ketika hewan memakan bahan makanan hijauan dengan kandungan  $\text{NO}_3^-$  tinggi. Penyebab paling umum dari kandungan  $\text{NO}_3^-$  tinggi dalam hijauan jaringan meliputi: (i) pemakaian pupuk yang terlalu tinggi; (ii) kondisi kekeringan; (iii) kerusakan jaringan tanaman (seperti defoliiasi sebagai akibat dari aplikasi herbisida); (iv) intensitas cahaya rendah, yang mengurangi aktivitas fotosintesis; dan (v) keberadaan spesies tanaman yang tidak terakumulasi, seperti gulma tahunan.

Pada tanaman leguminosa seperti semanggi putih, nitrogen diubah menjadi amonia selama fiksasi N biologis. Sementara pada tanaman nonleguminosa seperti *ryegrass*, pada umumnya nitrogen diserap hampir secara eksklusif dalam bentuk  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{NH}_4^+$ . Hal ini terjadi karena ion  $\text{NH}_4^+$  mengalami

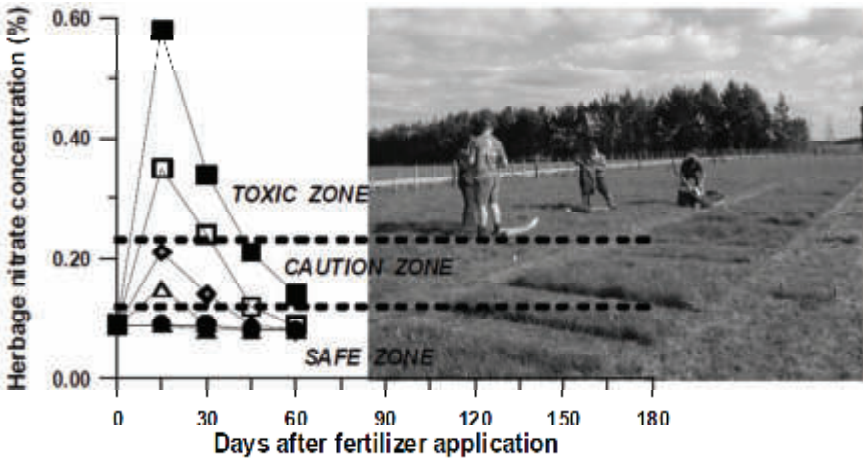
nitifikasi cepat dan juga ion  $\text{NH}_4^+$  sangat dipertahankan di situs pertukaran. Ketika ion  $\text{NH}_4^+$  diambil, mereka dikonversi langsung ke bentuk organik di akar sehingga mencegah akumulasi  $\text{NO}_3^-$ . Sedangkan dalam kasus  $\text{NO}_3^-$  yang tinggi, setelah diserap oleh akar tanaman sebagian  $\text{NO}_3^-$  direduksi menjadi  $\text{NH}_4^+$  yang kemudian berasimilasi menjadi senyawa organik, seperti protein. Karena reduksi  $\text{NO}_3^-$  sebagian besar terjadi pada pucuk, akumulasi  $\text{NO}_3^-$  dapat terjadi pada daun tanaman di mana  $\text{NO}_3^-$  ditranslokasi ke daun dengan laju yang lebih cepat daripada proses reduksi menjadi  $\text{NH}_4^+$  (Gambar 35). Sintesis protein tergantung pada proses fotosintesis untuk mengubah  $\text{NO}_3^-$  menjadi asam amino sehingga akumulasi  $\text{NO}_3^-$  pada tanaman jauh lebih besar terjadi dalam kondisi cahaya rendah seperti hari berawan.



**Gambar 35** Proses pengambilan unsur nitrogen dari dalam tanah oleh akar tanaman

(Sumber: Bolan dan Kemp 2003)

Percobaan lapangan dilakukan di Massey University pada sapi perah untuk menguji pengaruh aplikasi pupuk urea terhadap akumulasi  $\text{NO}_3^-$  di padang rumput berbasis leguminosa. Enam tingkat pupuk nitrogen (0, 50, 100, 200, 400, dan 600 kgN/ha) diterapkan pada area ukuran plot 9 m<sup>2</sup>. Dua tingkat tertinggi (400 dan 600 kgN/ha) diterapkan dalam 2 dosis terbagi dengan interval 5 hari untuk menghindari pembakaran padang rumput yang dihasilkan dari aplikasi urea yang berlebihan. Meskipun tidak mungkin bahwa lebih dari 50 kgN/ha diterapkan pada satu dosis tunggal untuk padang rumput yang digembalakan, tujuan dari percobaan ini adalah untuk menguji pengaruh aplikasi pupuk N yang berlebihan terhadap akumulasi  $\text{NO}_3^-$  di padang rumput. Empat replikasi digunakan untuk setiap perlakuan pupuk. Sampel padang rumput diambil secara berkala dan dianalisis untuk total N dan 2% asam asetat yang dapat diekstraksi  $\text{NO}_3^-$  N.



**Gambar 36** Pengaruh pupuk nitrogen terhadap konsentrasi nitrogen nitrat di padang rumput (600 kgN/ha; 400 kgN/ha, 200 kgN/ha; 100 kgN/ha, 50 kgN/ha; 0 kgN/ha) (pelat inset: Percobaan lapangan memeriksa pengaruh pupuk nitrogen terhadap konsentrasi nitrat

(Sumber: Bolan dan Kemp 2003)

Hasil menunjukkan bahwa konsentrasi herba  $\text{NO}_3^-$  meningkat seiring dengan meningkatnya tingkat aplikasi N, tetapi konsentrasi menurun dengan meningkatnya waktu setelah aplikasi pupuk (Gambar 10.4). Konsentrasi  $\text{NO}_3^-$



di padang rumput mencapai tingkat toksik ( $>0,23\%$ ) segera setelah aplikasi pupuk, hanya pada level 200 kgN/ha ke atas. Ini menunjukkan bahwa pada tingkat optimal aplikasi pupuk N (50–100 kgN/ha) potensi keracunan nitrat masih dalam level aman.

## 10.3 Faktor-faktor yang Memengaruhi Akumulasi Nitrat pada Tanaman

Akumulasi dan keracunan nitrat terjadi terutama dipengaruhi oleh jenis tanaman, usia dan kondisi tanaman, kondisi sedikit hujan (kekeringan), cahaya matahari, kondisi stres tanaman, dan jenis hewan yang mengonsumsi. Pada ulasan berikut akan dicoba untuk diulas satu persatu.

### 10.3.1 Jenis tanaman

Pada tanaman berbasis leguminosa, kemungkinan terjadinya akumulasi  $\text{NO}_3^-$  berlebih lebih kecil. Karena tanaman leguminosa secara aktif memperbaiki N dalam akar mereka sebagai amonia. Sementara pada jenis rerumputan, potensi akumulasi  $\text{NO}_3^-$  berlebih lebih mungkin terjadi terutama pada awal periode pertumbuhan dan cenderung berkurang dengan bertambahnya usia tanam.

Pada jenis *ryegrass* sebagian besar akumulasi terjadi akibat penyerapan  $\text{NO}_3^-$  yang tinggi. Pada jenis lain, misal *Avena sativa*, akumulasi  $\text{NO}_3^-$  terutama disebabkan oleh laju reduksi  $\text{NO}_3^-$  yang lambat. Pada tanaman muda yang aktif tumbuh, sebagian besar nitrogen berasimilasi menjadi protein yang menghasilkan nitrogen organik tinggi, sedangkan pada daun tua dan mati hanya sejumlah kecil nitrogen yang berasimilasi menjadi N organik sehingga menghasilkan akumulasi  $\text{NO}_3^-$  yang tinggi. Perbedaan dalam akumulasi  $\text{NO}_3^-$  telah ditemukan antara spesies dan varietas. Spesies yang terakumulasi nitrat termasuk gandum, jagung (*Zea mays*), gandum hitam (*Secale cereale*), gandum (*Triticum aestivum*), dan barley (*Hordeum vulgare*), dan non-akumulator termasuk *timothy* (*Phleum pratense*), *browntop* (*Agrostis capillaris*), dan *cocksfoot* (*Dactylis capillaris*).

Secara umum, tanaman hijauan yang menghasilkan sejumlah besar bahan berdaun, seperti *ryegrass* mengubah  $\text{NO}_3^-$  menjadi nitrogen organik, sedangkan tanaman biji-bijian seperti oat mengubah lebih sedikit  $\text{NO}_3^-$

menjadi nitrogen organik, sehingga menghasilkan akumulasi  $\text{NO}_3^-$ . Sebagian besar spesies gulma cenderung mengakumulasi  $\text{NO}_3^-$ , terutama karena laju pertumbuhannya yang lambat.

### 10.3.2 Fase pertumbuhan tanaman

Umumnya konsentrasi  $\text{NO}_3^-$  tinggi pada awal pertumbuhan dan menurun dengan proses pematangan. Namun dalam daun dewasa proses reduksi  $\text{NO}_3^-$  terbatas sehingga menyebabkan proses pada akumulasi  $\text{NO}_3^-$ , terutama terjadi sesaat setelah aplikasi pupuk nitrogen. Jika tanaman ditekan pada setiap tahap pertumbuhan, mereka dapat mengakumulasi  $\text{NO}_3^-$ . Nitrat biasanya menumpuk pada bagian batang dan jaringan konduktif. Konsentrasi cenderung rendah pada daun karena kadar enzim reduktase  $\text{NO}_3^-$  yang tinggi. Pada umumnya biji-bijian mengandung  $\text{NO}_3^-$  dalam jumlah yang tidak terlalu besar.

### 10.3.3 Kondisi kekeringan

Telah sering diamati bahwa konsentrasi  $\text{NO}_3^-$  dalam herba tinggi setelah kondisi kekeringan singkat karena dua alasan. Pertama, selama periode kekeringan konsentrasi  $\text{NO}_3^-$  menumpuk di tanah dan sebagian besar nitrogen diambil dalam bentuk ini. Kedua, tingkat kelembapan selama periode kekeringan menyebabkan depresi hasil bahan kering sehingga menghasilkan pengurangan lebih sedikit  $\text{NO}_3^-$  menjadi nitrogen organik. Telah diamati bahwa kekeringan selama periode pematangan meningkatkan konsentrasi  $\text{NO}_3^-$  dalam oat. Di Selandia Baru, akumulasi  $\text{NO}_3^-$  di padang rumput telah diperhatikan dalam kondisi cuaca dingin dan berawan, terutama setelah musim kemarau. Selama musim kemarau panjang, level  $\text{NO}_3^-$  menumpuk di tanah dan saat hujan, tanaman cenderung mengambil  $\text{NO}_3^-$  dalam jumlah berlebihan. Ketika tanaman mengalami kekurangan air, ada gangguan umum proses asimilasi. Tingkat reduksi  $\text{NO}_3^-$  diperlambat, sebagian terjadi akibat penurunan enzim  $\text{NO}_3^-$  reduktase. Nitrat terakumulasi dalam tanaman selama periode kekeringan moderat karena akar terus menyerap  $\text{NO}_3^-$ , tetapi suhu siang hari yang tinggi cenderung menghambat konversi menjadi asam amino. Selama kekeringan parah, kurangnya kelembapan mencegah penyerapan  $\text{NO}_3^-$  oleh akar tanaman. Setelah hujan, akar cepat menyerap  $\text{NO}_3^-$  dan mengakumulasi dalam konsentrasi yang tinggi.

### 10.3.4 Sinar matahari

Variasi konsentrasi  $\text{NO}_3^-$  pada tanaman telah sering diamati. Sinar matahari memengaruhi akumulasi  $\text{NO}_3^-$  melalui efek langsungnya pada proses reduksi  $\text{NO}_3^-$  dan efek tidak langsung pada hasil pengeringan kering. Pengurangan nitrat terjadi pada daun muda dan membutuhkan cahaya sebagai sumber energi. Tumbuhan teduh kekurangan energi yang cukup untuk mengubah  $\text{NO}_3^-$  menjadi asam amino. Perpanjangan periode cuaca berawan telah terbukti meningkatkan kandungan  $\text{NO}_3^-$  pada tanaman. Hijauan yang dipanen atau digembalakan setelah beberapa hari cuaca berawan diketahui mengandung kadar  $\text{NO}_3^-$  lebih tinggi daripada setelah cuaca cerah. Di Amerika Utara, tanaman yang ditanam di musim panas ternyata mengandung kadar  $\text{NO}_3^-$  yang tinggi. Sintesis senyawa organik akan terbatas karena intensitas cahaya rendah pada periode itu. Namun, penyerapan nitrogen umumnya tetap tinggi akibat suhu tanah yang relatif tinggi dan pasokan air yang baik.

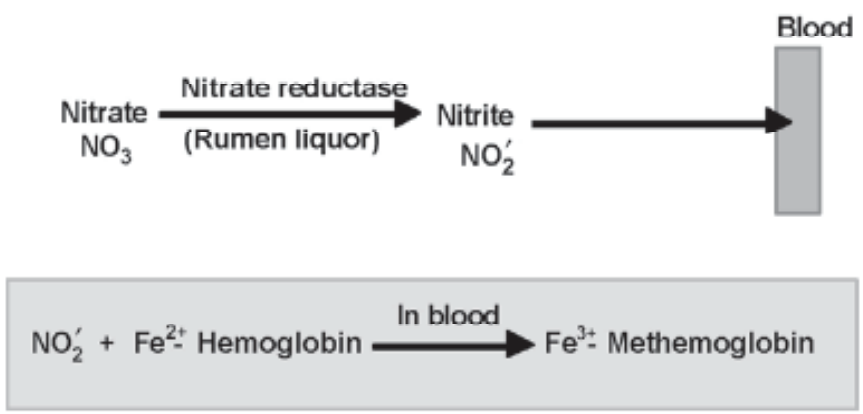
### 10.3.5 Kondisi tanaman

Faktor stres tanaman, seperti hujan es, embun beku ringan, atau penyakit tanaman dapat merusak area daun tanaman dan mengurangi aktivitas fotosintesis. Faktor-faktor stres ini dapat meningkatkan bahaya  $\text{NO}_3^-$  pada hewan. Sebagai contoh, hujan es biasanya mengurangi luas daun, menyisakan proporsi batang yang lebih tinggi untuk konsumsi hewan, di mana konsentrasi  $\text{NO}_3^-$  tinggi. Juga, tekanan dari luas daun berkurang mengurangi konversi  $\text{NO}_3^-$ . Demikian pula herbisida seperti 2,4-D untuk sementara waktu dapat meningkatkan kandungan  $\text{NO}_3^-$  hijauan dan gulma. Namun, karena banyak gulma terakumulasi  $\text{NO}_3^-$ , bahaya keseluruhan dapat dikurangi jika gulma terbunuh. Gulma yang rusak karena herbisida cenderung mengakumulasi  $\text{NO}_3^-$  karena berkurangnya luas daun dan berkurangnya aktivitas enzim  $\text{NO}_3^-$  reduktase.

## 10.4 Toksisitas Nitrat dan Nitrit

Dalam kondisi normal, level nitrat yang tidak terlampaui tinggi dapat diabaikan. Hijauan pada kondisi tertentu dapat mengakumulasi nitrat pada konsentrasi yang bersifat toksik pada ternak. Kondisi yang memengaruhi akumulasi nitrat pada tanaman di antaranya adalah kekeringan, keberadaan

naungan, penggunaan herbisida, dan penggunaan pupuk nitrogen. Sebetulnya nitrat sendiri tidak begitu beracun, namun nitrat dapat dikonversi menjadi nitrit oleh bakteri di saluran pencernaan yang jauh lebih toksik. Pada sapi dan domba, konversi ini terjadi di rumen, sedangkan pada kuda terjadi di sekum. Nitrit dapat dengan mudah diserap disaluran pencernaan dan masuk ke dalam darah, kemudian bergabung dengan hemoglobin pada sel darah merah untuk membentuk methemoglobin (Gambar 37).



**Gambar 37** Mekanisme nitrat menjadi nitrit kemudian berikatan dengan hemoglobin

(Sumber: Makkar *et al.* 2007)

Hasil studi meta-analisis mengkonfirmasi kemungkinan keracunan nitrat yang dipicu oleh tingginya kadar methemoglobin akibat asupan yang tinggi akan nitrat. Methaemoglobin ini tidak mampu untuk mengambil dan mentransportasikan oksigen. Oleh karena itu, konsekuensi dari keracunan nitrit berkaitan dengan kekurangan oksigen, membuat tubuh lemas dan turunnya tekanan darah. Ternak yang masih muda dan bayi sangat rentan terhadap keracunan nitrit karena volume darah yang sedikit sehingga membutuhkan lebih sedikit nitrit untuk mengkonversi seluruh hemoglobin menjadi methemoglobin.

Sebuah survei menunjukkan bahwa sejumlah kasus padang rumput dan keracunan hijauan yang disebabkan oleh kandungan NO<sub>3</sub><sup>-</sup> yang tinggi telah dilaporkan pada domba dan sapi perah di Selandia Baru dalam 10 tahun terakhir. Beberapa kasus terbaru keracunan nitrat pada hewan ruminansia

tersaji dalam Tabel 8. Sebagai contoh, pada tahun 1999, 63 sapi perah mati karena keracunan nitrat di peternakan sapi perah Northland setelah konsumsi padang rumput dengan kadar  $\text{NO}_3^-$  yang tinggi. Keracunan nitrat pada sapi menyerang secara tiba-tiba. Peristiwa ini diduga dipicu oleh adanya cuaca dingin dan berawan setelah musim kering melanda di wilayah tersebut. Ruminansia lebih rentan terhadap toksisitas nitrat daripada hewan monoogastrik karena adanya aksi mikroba dalam rumen.

**Tabel 8** Kasus keracunan nitrat pada hewan ruminansia

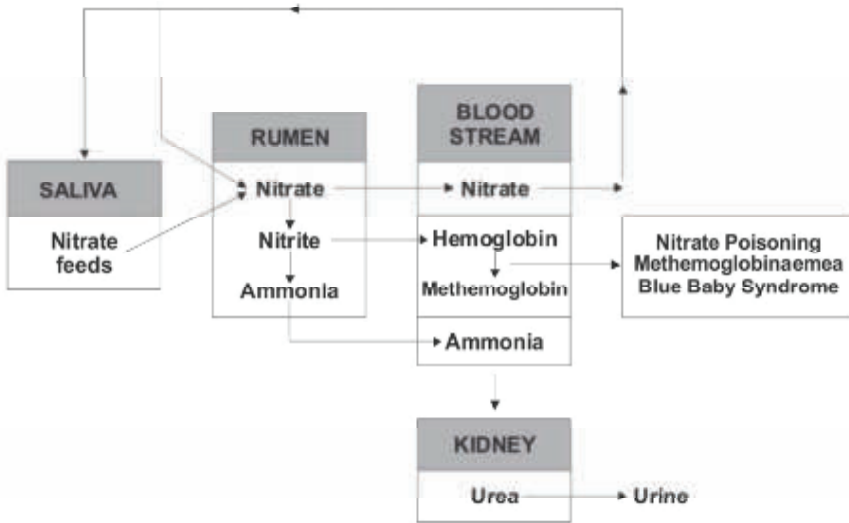
Hewan	Pakan	Kasus keracunan
Sapi perah	<i>Ryegrass</i>	63 meninggal; 10 dirawat
Sapi perah	<i>Ryegrass</i>	23 meninggal; 10 keguguran; 15 dirawat
Sapi perah	<i>Brassica/hay</i>	13 meninggal; 14 keguguran; 5 dirawat
Sapi perah	<i>Grass/hay</i>	3 meninggal; 5 dirawat
Sapi jantan	<i>Brassica</i>	2 meninggal; 2 dirawat
Domba	<i>Ryegrass</i>	12 meninggal
Domba	<i>Ryegrass</i>	7 pingsan, koma dengan respirasi cepat, dan meninggal
Domba	<i>Ryegrass</i>	21 meninggal mendadak
Sapi perah	<i>Ryegrass</i>	12 meninggal; 7 dirawat
Sapi perah	<i>Maize</i>	3 meninggal; 120 keguguran; 6 dirawat
Sapi perah	<i>Brassica</i>	5 meninggal; 10 keguguran; 40 anak sapi mati

Sumber: Bolan dan Kemp (2003); Bolan (1998)

Gejala toksisitas yang muncul termasuk gemeteran, cara berjalan yang tidak normal, serta pernapasan cepat dan lemah. Hewan yang terkena dampak berhenti makan dan segera kolaps, koma, bahkan kematian. Pada kasus keracunan nitrat akhirnya menyebabkan kehilangan berat badan dan produksi susu, serta keguguran mendadak. Alasan fisiologis keracunan ini adalah bahwa  $\text{NO}_3^-$  dalam hijauan dikonversi menjadi  $\text{NO}_2^-$  dalam saluran pencernaan. Ketika  $\text{NO}_3^-$  diserap ke dalam darah, ia mengubah hemoglobin menjadi suatu bentuk methaemoglobin yang tidak dapat mengangkut oksigen sehingga hewan ternak tersebut sesak napas.

Nitrat dalam hijauan yang dikonsumsi oleh hewan ruminansia direduksi menjadi  $\text{NO}_2^-$  dan kemudian menjadi amonia. Amonia kemudian dikonversi menjadi protein oleh mikroba dalam rumen. Kelebihan amonia diserap oleh

darah dan dikeluarkan dalam urin sebagai urea. Hewan ruminansia dengan tingkat  $\text{NO}_3^-$  tinggi dalam makanannya mengakumulasi  $\text{NO}_2^-$  (nitrit). Tergantung pada tingkat reduksi nitrat oleh mikroba rumen, nitrat, dan nitrit dapat terakumulasi dalam rumen dan diserap ke dalam darah melalui dinding rumen. Nitrat yang muncul dalam darah tidak beracun, tetapi nitrit beracun. Nitrit dalam darah akan berikatan dengan sel darah merah dan mengubah bentuk ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ) dari hemoglobin menjadi bentuk ferri ( $\text{Fe}^{3+}$ ) sehingga hemoglobin berubah menjadi methaemoglobin. Sementara senyawa nitrit itu sendiri teroksidasi kembali menjadi nitrat. Methaemoglobin merupakan suatu zat yang tidak mampu mengangkut oksigen (Gambar 38). Sebagian nitrat dalam darah akan didaur ulang kembali ke dalam usus dan diekskresikan ke dalam urin, atau kemungkinan dimasukkan dalam metabolisme oksida nitrat.



**Gambar 38** Mekanisme nitrat pada tanaman dan ruminansia

(Sumber: Bolan dan Kemp 2003)

Darah tidak lagi dapat mengangkut oksigen ke jaringan tubuh, detak jantung hewan meningkat, dan tremor otot berkembang. Kondisi ini dikenal sebagai keracunan nitrat (methemoglobinaemia atau sindrom bayi biru pada manusia). Tanda-tanda klinis mulai muncul ketika methaemoglobin mencapai 30–40% dalam darah dan beralih ke kejang diikuti oleh kematian

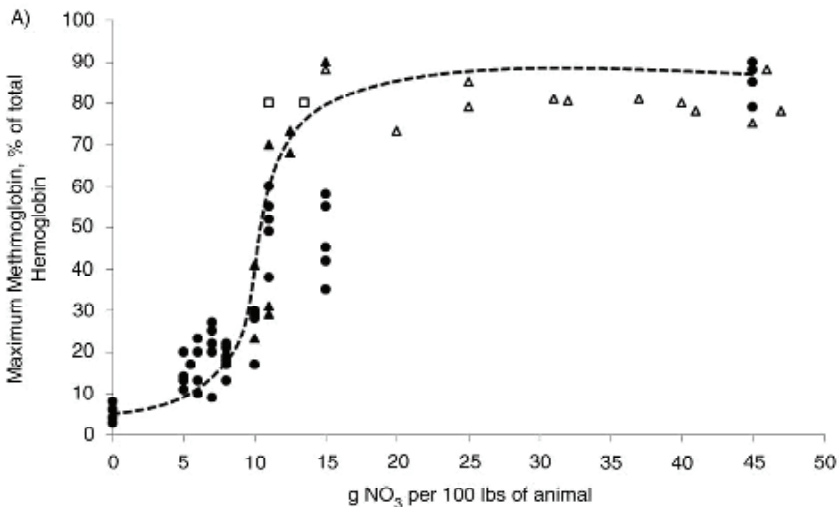
pada level methaemoglobin mencapai 8.090%. Sejumlah kasus gejala akut dan kematian pada sapi setelah konsumsi jerami telah dilaporkan di banyak negara dan disebut keracunan gandum-jerami. Di negara-negara ini, batang jagung serta jerami gandum, silase jagung, silase sorgum (*Sorghum vulgare*), dan jerami alfalfa (*Medicago sativa*) telah ditemukan bertanggung jawab atas keracunan nitrat.

Gejala fisik yang dicatat termasuk gemetaran, warna lendir/kelenjar menjadi kecokelatan, gaya berjalan yang abnormal, pernapasan cepat, dan tersungkur. Hewan yang terkena dampak berhenti makan, serta segera runtuh dan mati tanpa kejang-kejang. Sianosis lidah dan sklera diamati dan darah berubah menjadi cokelat kemerahan karena adanya methaemoglobin. Tingkat methaemoglobin dalam darah (persen dari total hemoglobin) dapat dijadikan indikator yang baik untuk mengukur tingkat keracunan nitrat. Hal ini karena tingkat keracunan nitrat dan methemoglobin darah secara langsung berkaitan.

Sapi tampaknya lebih rentan daripada domba dan kuda. Kehilangan berat badan dan produksi susu, serta keguguran telah tercatat sebagai efek *sublethal* pada sapi perah. Diperkirakan bahwa  $\text{NO}_2^-$  dapat mengganggu sintesis progesteron, yang merupakan hormon utama yang terlibat dalam mendukung kehamilan. Terdapat ketidakpastian mengenai tingkat minimal konsumsi  $\text{NO}_3^-$  yang dianggap sebagai dosis mematikan. Penelitian telah menunjukkan bahwa 7,6–9,0 g  $\text{NO}_3^-$  N per 100 kg berat badan sudah mematikan bagi hewan. Dengan asumsi bahwa rata-rata asupan padang rumput harian oleh sapi perah adalah 4% dari berat badan, padang rumput dengan kandungan  $\text{NO}_3^-$  lebih dari 0,3% cenderung beracun bagi hewan dengan berat badan hidup 300 kg. Penting untuk diingat bahwa tingkat padang rumput  $\text{NO}_3^-$  di atas di mana toksisitas terjadi tergantung pada tingkat konsumsi padang rumput oleh hewan.

Hasil studi gabungan menunjukkan adanya hubungan sigmoid antara kadar methaemoglobin dalam darah dan peningkatan asupan kadar nitrat (Gambar 39). Level methaemoglobin dalam darah akan dengan dengan cepat naik segera sesaat setelah pemberian natrium nitrat dalam asupan. Kemudian methaemoglobin menurun secara bertahap setelahnya puncak (Gambar 40). Level toksik mematikan berkisar pada 70–80% methaemoglobin dalam darah. Hasil analisis menunjukkan bahwa tingkat mematikan dapat dicapai

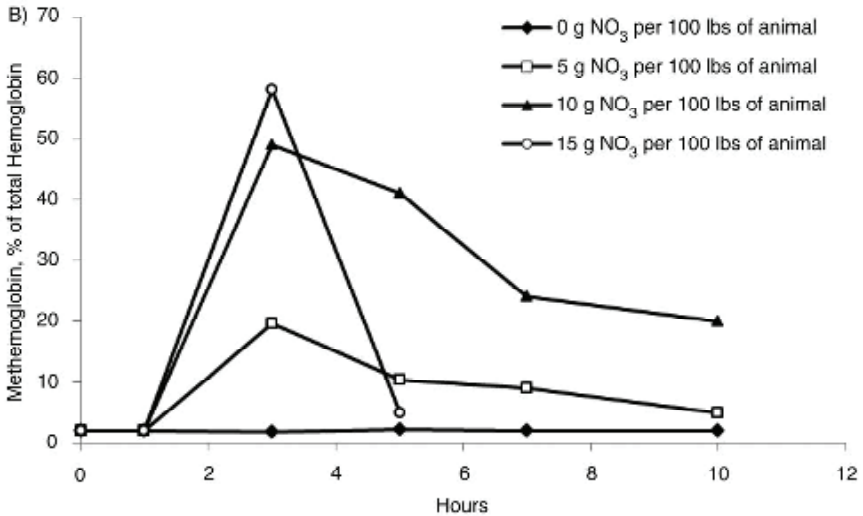
dalam waktu 3 jam setelah pemberian pakan mengandung nitrat tinggi yaitu sekitar 10–15 g nitrat per 100 lbs hewan, atau setara dengan 0,22–0,33 g nitrat/kg berat badan hewan. Hasil serupa juga telah dilaporkan, dengan sapi Hereford (382–445 kg BB) dengan natrium nitrat yang diberikan secara *intraruminally* pada tingkat 0,22 g nitrat/kg BB. Akibatnya, sapi teracuni oleh nitrat di antaranya satu sapi mati dan enam dari delapan sapi dirawat. Sapi tersebut memiliki kadar methaemoglobin yang lebih besar dari 50% dalam periode 6–8 jam setelah pemberian nitrat.



**Gambar 39** Respons methemoglobin darah (persen dari total hemoglobin) terhadap peningkatan kadar nitrat

(Sumber: Lee dan Beauchemin 2014)



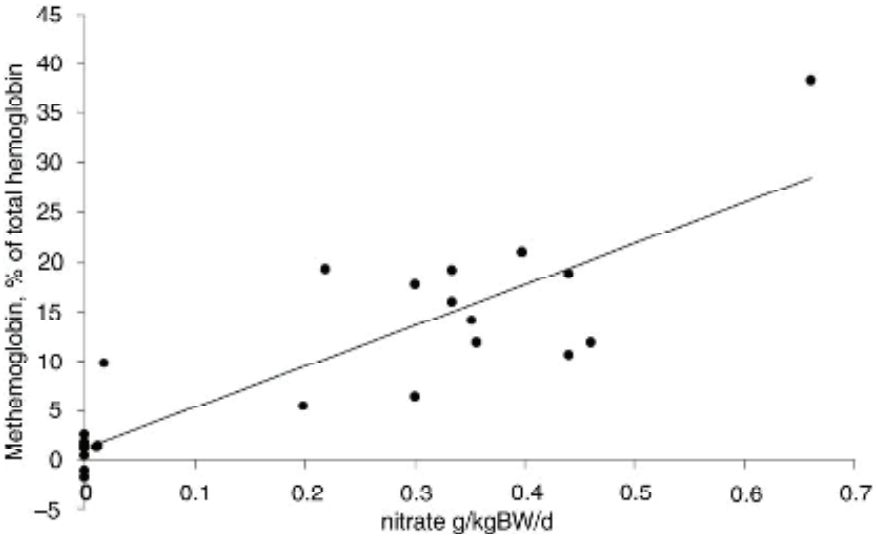


**Gambar 40** Level methaemoglobin dalam darah sapi yang mendapat asupan natrium nitrat 15 g per 100 lbs (analisis methaemoglobin dilakukan dengan larutan biru metilen). Terlihat methaemoglobin menurun 2 jam setelah pemberian pakan mengandung nitrat

(Sumber: Lee dan Beauchemin 2014)

Penting untuk diketahui bahwa respons methaemoglobin dalam darah kemungkinan besar *underestimate* karena penelitian tersebut mengukur kadar methaemoglobin dalam darah rata-rata dari beberapa poin waktu selama siklus pemberian pakan. Seperti dijelaskan di atas (Gambar 40), kadar methaemoglobin meningkat dengan cepat setelah pemberian nitrat, kemudian menurun setelahnya. Karena itu, tingkat methaemoglobin rata-rata yang dinyatakan dalam publikasi kemungkinan besar lebih kecil dari nilai yang sesungguhnya (*underestimate*).

Bagaimanapun potensi risiko keracunan nitrat terjadi ketika tingkat methaemoglobin mencapai level tertinggi dicapai dalam darah. Oleh karena itu, kadar methaemoglobin tertinggi dalam siklus pemberian pakan (3–6 jam setelah pemberian pakan) akan lebih informatif dan tepat daripada mencantumkan level rata-rata. Meskipun cenderung *underestimate*, Gambar 41 menunjukkan peningkatan risiko toksisitas nitrat karena kadar methaemoglobin yang lebih tinggi ketika konsumsi nitrat meningkat.

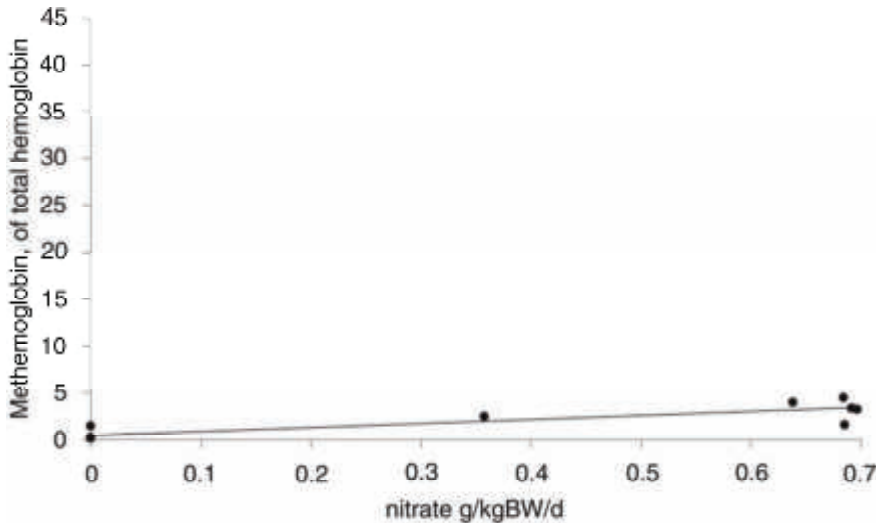


**Gambar 41** Respons methemoglobin darah (setiap titik mewakili nilai rata-rata untuk kelompok perlakuan) terhadap peningkatan kadar nitrat dalam diet dari sembilan penelitian dengan 25 perlakuan,  $Y = 41,3 \times \text{nitrate (g/kg BW/d)} + 1,2$ ;  $R^2=0,76$ ,  $P<0,001$ .

(Sumber: Lee dan Beauchemin 2014)

Untuk menurunkan toksisitas nitrat pada ruminansia, suatu strategi aklimasi telah diimplementasikan dalam beberapa penelitian. Tujuan dari strategi aklimasi ini adalah untuk meningkatkan aktivitas atau populasi mikroba rumen yang mampu mengurangi nitrat menjadi amonia dalam rumen melalui adaptasi. Hasil studi *in vitro* menunjukkan adanya beberapa mikroba rumen seperti *Ruminococcus albus* dan *Ruminococcus flavofaciens* berhasil memetabolisme media berbasis nitrat. Produksi asam lemak volatil pada media secara signifikan meningkat setelah aklimatisasi. Pemberian pakan bertahap pada domba dengan kenaikan dari 0,5 g nitrat/kg BB menjadi 2,5 g nitrat/kg BB dalam waktu lebih dari 2 minggu. Hasil analisis menunjukkan peningkatan kemampuan rumen ternak dalam mereduksi nitrat hingga lima kali lipat lebih tinggi dengan populasi mikroba pereduksi nitrat bertambah hingga tiga kali lipat lebih besar dari semula. Hasil studi mengonfirmasi strategi aklimasi ini. Kemampuan reduksi nitrat domba meningkat dengan strategi aklimasi dibandingkan dengan domba tanpa manajemen pemberian pakan

nitrat aklimasi. Penelitian *in vivo* mengenai metode aklimasi ini jumlahnya masih sangat terbatas. Respons methaemoglobin terhadap pemberian pakan nitrat aklimasi ditunjukkan pada Gambar 42.



**Gambar 42** Respons methaemoglobin darah (setiap titik mewakili nilai rata-rata dari masing-masing kelompok perlakuan) dari tiga penelitian 11 perlakuan pakan nitrat teraklimasi;  $YY = 4.2 \times \text{nitrate (g/ kg BB/hari)} - 0.4, R^2$

(Sumber: Lee dan Beauchemin (2014); Farra dan Satter (1971); Nolan *et al.* (2010); van Zijderveld *et al.* (2011))

Hanya tiga studi yang dikumpulkan dari literatur yang menggunakan manajemen nitrat teraklimasi. Kadar methemoglobin darah merespons secara linear peningkatan kadar nitrat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 41 dan 42 jelas bahwa kemiringannya jauh lebih kecil (4,2 vs 41,3) ketika metode aklimasi ini diterapkan. Hal ini menunjukkan bahwa nitrat dan nitrit berkurang dengan cepat karena nitrat tidak menumpuk di dalam rumen dan darah.

Bagaimanapun strategi nitrat aklimasi ini masih perlu dikonfirmasi kembali mengingat jumlah studi yang ada masih sangat sedikit.

Nitrat umumnya dianggap sebagai senyawa yang tidak diinginkan pada pakan ruminansia karena potensinya untuk menginduksi methaemoglobinaemia, dan fakta bahwa senyawa ini merupakan karsinogenik. Selain karsinogenik, senyawa ini diprediksi dapat mengganggu metabolisme vitamin A pada ruminansia. Bagaimanapun, studi kaitan antara nitrat dan vitamin A belum kuat untuk disimpulkan.

## 10.5 Upaya Mencegah dan Menangani Keracunan Nitrat

### 10.5.1 Menambah asupan air dan karbohidrat

Langkah pertama dan terpenting yang harus diambil dalam menangani kasus keracunan nitrat adalah segera menghentikan asupan pakan sumber  $\text{NO}_3^-$  tinggi dan memberikan banyak air. Asupan tinggi karbohidrat dan rendah  $\text{NO}_3^-$  harus segera diberikan. Perlakuan ini akan mengurangi konsentrasi  $\text{NO}_3^-$  pada rumen serta menurunkan pH rumen yang dapat memperlambat proses reduksi  $\text{NO}_3^-$  menjadi  $\text{NO}_2^-$  dalam rumen.

### 10.5.2 Pemberian *methylene blue*

Penanganan yang direkomendasikan adalah *methylene blue*, yang terbukti menjadi penangkal efektif untuk toksisitas  $\text{NO}_3^-$ . Hewan yang terserang akut harus dirawat secara intravena. Suatu larutan berair 1–4% yang diberikan dengan laju 2 g metilen biru per 300 kg berat badan sudah memadai, meskipun metilen biru dalam glukosa 5% atau 1,8% natrium sulfat telah disarankan. Metilen biru dianggap bertindak sebagai akseptor elektron untuk enzim reduktase methemoglobin dalam darah sehingga mempercepat perubahan methemoglobin menjadi hemoglobin.

### 10.5.3 Mencegah lebih direkomendasikan

Pada dasarnya peternak harus lebih berkonsentrasi pada pencegahan daripada perawatan, karena begitu seekor hewan mulai menunjukkan gejala keracunan nitrat, kemungkinan hanya ada waktu singkat untuk menyelamatkan

hewan tersebut, karena kesehatan hewan tersebut memburuk dengan cepat. Keracunan nitrat pada sapi dapat diminimalisir dengan praktik manajemen penggembalaan yang tepat.

#### 10.5.4 Waspada dengan level toksik nitrat

Tindakan pencegahan harus diambil jika kelebihan  $\text{NO}_3^-$  terakumulasi dalam hijauan. Hijauan dengan  $>0,3\%$   $\text{NO}_3^-$  harus dianggap berpotensi toksik dan harus dicampur dengan pakan yang rendah  $\text{NO}_3^-$  dan tinggi karbohidrat dan protein. Sapi yang kelaparan tidak boleh merumput di padang rumput baru dalam kondisi cuaca berawan, terutama setelah periode kering. Dalam kondisi ini, sampel padang rumput harus diuji kadar  $\text{NO}_3^-$ -nya dan hewan harus diberikan padang rumput hanya sebagai bagian dari ransum.

#### 10.5.5 Membatasi pupuk nitrogen

Pupuk nitrogen tidak boleh diaplikasikan dalam jumlah yang tinggi sebagai pupuk tunggal selama cuaca yang sangat kering. Ini akan mempredisipasi padang rumput atau tanaman hijauan ke level  $\text{NO}_3^-$  tanah yang tinggi. Pertumbuhan kembali yang subur dari rumput N yang banyak dibuahi umumnya mengandung kadar  $\text{NO}_3^-$  tinggi dan tidak boleh digembalakan. Memastikan tanaman hijauan daripada memanen sebagai jerami akan mengurangi  $\text{NO}_3^-$  sebesar 40–60% selama proses penguburan. Namun, hijauan dengan tingkat  $\text{NO}_3^-$  yang sangat tinggi saat panen mungkin masih berbahaya setelah diasingkan dan harus dianalisis sebelum memberi makan.

#### 10.5.6 Menyapah ternak secara bertahap

Hewan muda harus disapah secara bertahap ke dalam diet dengan kandungan  $\text{NO}_3^-$  tinggi. Seiring waktu, mikroba rumen mampu mengasimilasi kadar  $\text{NO}_3^-$  yang tinggi sehingga mencegah *flush*  $\text{NO}_2^-$  menumpuk di dalam rumen.

Rumput yang mengandung  $\text{NO}_3^-$  tinggi diberikan secara bergantian dengan sumber pakan karbohidrat tinggi. Ini akan mencegah rumen  $\text{NO}_3^-$  mencapai tingkat toksik dan pH rendah yang diciptakan oleh konsentrasi karbohidrat yang tinggi dari diet akan memperlambat reduksi  $\text{NO}_3^-$  menjadi  $\text{NO}_2^-$  dalam rumen.

### 10.5.7 Menjaga kesehatan ternak

Menjaga kesehatan ternak dengan baik juga akan mengurangi potensi toksisitas nitrat. Ternak yang kurang sehat akan lebih rentan terhadap toksisitas nitrat daripada ternak yang kondisi kesehatannya kurang terjaga dengan baik. Sebagai contoh, ternak yang menderita infeksi parasit akan lebih rentan keracunan toksik.

### 10.5.8 Mengatur penggunaan herbisida

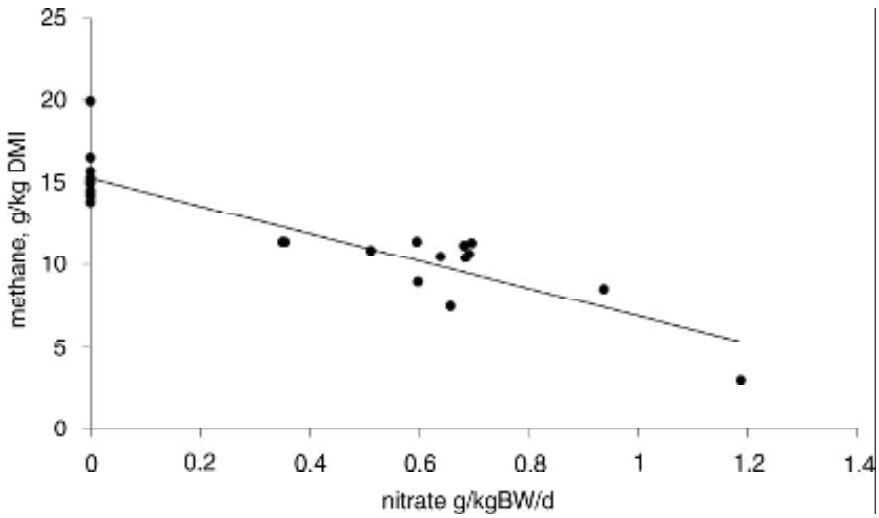
Perhatian perlu lebih ditingkatkan ketika merumput pada tanaman dengan kerusakan jaringan, misalnya setelah aplikasi herbisida. Setiap kerusakan pada jaringan tanaman akan menghasilkan penurunan potensial fotosintesis tanaman secara langsung yang secara tidak langsung akan memengaruhi level  $\text{NO}_3^-$  di dalam tanaman. Rerumputan yang mengalami kerusakan jaringan akan cenderung memiliki kadar nitrat yang tinggi akibat kurangnya konversi  $\text{NO}_3^-$  menjadi nitrogen organik. Selain itu, rasio ternak dengan rumput sebaiknya diatur agar tidak terlalu tinggi karena terlalu banyak peternak memaksa ternak untuk memakan batang yang mengandung level  $\text{NO}_3^-$  tertinggi.

## 10.6 Nitrat dan Emisi Gas Metan

Meskipun banyak kasus kematian ternak (bahkan manusia) akibat keracunan nitrat terungkap, bagaimanapun studi telah juga banyak mengungkap bahwa asupan nitrat yang terkontrol dengan baik mampu mengurangi emisi gas metan pada ternak ruminansia. Emisi gas metan dalam ternak menjadi salah satu indikator inefisiensi metabolisme energi dalam hewan ruminansia. Selain indikator inefisiensi, senyawa metan dari ternak juga dihimbau untuk dapat diturunkan karena terbukti berkorelasi dengan pemanasan global. Senyawa metan yang masuk dalam udara terbukti mampu memberikan efek menaikkan suhu bumi dengan efek yang lebih besar dari pada emisi karbon dioksida.

Efek perubahan emisi metan ternak terhadap kadar nitrat dalam pakan disajikan pada Gambar 43. Enterik emisi metana berkurang secara linier dengan meningkatnya kadar nitrat yang dikonsumsi oleh hewan ( $R^2=0,80$ ,  $P<0,001$ ). Uniknya, semua studi yang digunakan dalam analisis ini melaporkan pengurangan emisi metana yang signifikan dari hewan yang diberi diet berbasis

nitrat dibandingkan dengan diet tanpa nitrat. Karena itu, nitrat tampaknya memiliki efektivitas yang konsisten antara studi dalam menurunkan enterik produksi metana pada ruminansia.



**Gambar 43** Respons emisi metana enterik (setiap titik mewakili nilai rata-rata untuk setiap kelompok perlakuan) hingga tingkat nitrat yang meningkat

(Sumber: Lee dan Beauchemin 2014; Sar *et al.* 2004, 2005; Huyen *et al.* 2010; Nolan *et al.* 2010; van Zijderveld *et al.* 2010, 2011; Hulshof *et al.* 2012; Li *et al.* 2012)

Salah satu persyaratan untuk strategi mitigasi yang efektif adalah kemanjuran yang persisten dalam menurunkan enterik emisi metana. Hanya ada sedikit studi yang menyelidiki efek nitrat pada metana enterik untuk jangka panjang. Pemberian pakan nitrat untuk sapi perah dalam penelitian jangka panjang di mana sapi diberi makan berbasis silase jagung/bungkil kedelai diet ditambah dengan nitrat (2,1% nitrat dari makanan DM) selama sekitar 90 hari. Emisi metan berkurang hingga 16,5% secara konsisten untuk seluruh periode percobaan.

Percobaan selama 54 hari pada dengan domba dengan pemberian pakan diet yang mengandung nitrat (0,88 g nitrat/kg BB) menghasilkan 34% lebih sedikit metana enterik dibandingkan dengan mereka yang diberi diet yang mengandung urea. Studi lain, pemberian pakan dalam bentuk

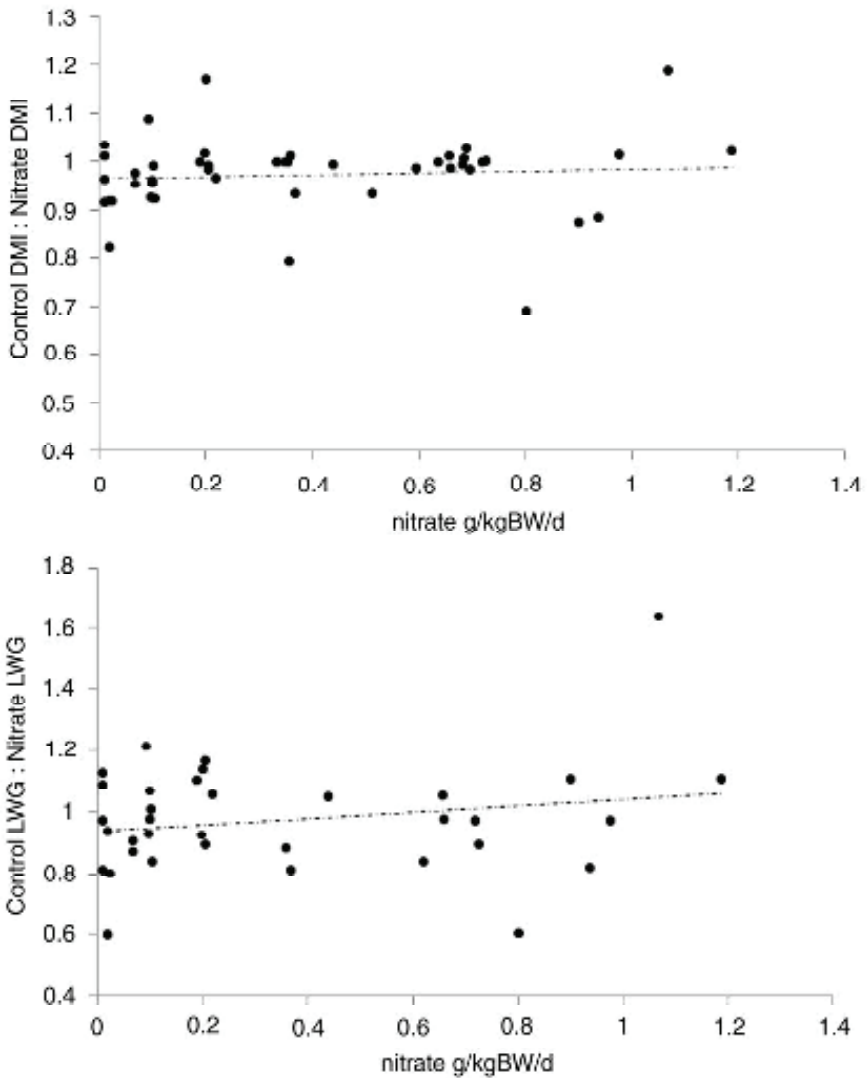
enkapsulasi nitrat (2,7% nitrat dari makanan DM) selama 92 hari pada domba menghasilkan metana enterik hingga 33% lebih sedikit dibandingkan dengan domba diberi makan diet berbasis urea. Karena itu, sekalipun sangat sedikit penelitian yang dilakukan, tampaknya pemberian nitrat secara terus-menerus efektif dalam mengurangi enterik emisi metana. Perlu dicatat bahwa keefektifan mitigasi emisi metana menurun dengan meningkatnya level nitrat yang diberikan pada ruminansia.

### 10.6.1 Manfaat lain dari nitrat

Meski termasuk senyawa antinutrisi, nitrat terbukti tidak banyak memengaruhi asupan bahan kering dan pertambahan bobot hidup (*Life Weight Gain*). Bahkan studi juga membuktikan bahwa penambahan nitrat dalam pakan ruminansia dapat menjadi pengganti urea sumber nitrogen nonprotein yang berguna (NPN), yang mampu mengubah komposisi nitrogen urin dengan cara meningkatkan amonia dan emisi nitrous oksida dari *manure* (urin). Studi asupan pakan dan produksi hewan yang diberi nitrat diet ditunjukkan dalam Gambar 44.

Selanjutnya, suplementasi nitrat tambahan tersebut mungkin memiliki berbagai peran fisiologis dalam metabolisme oksida nitrat pada ruminansia. Sebagai kesimpulan, nitrat tambahan bisa menjadi salah satu cara alternatif dalam mengurangi emisi metana enterik. Risiko toksisitas nitrat dapat dikurangi dengan manajemen aklimasi bertahap hewan terhadap nitrat. Hanya saja perlu diingat bahwa penurunan produksi metana ini sepertinya tidak sampai mengarah pada pengonversian menjadi energi yang dapat dimetabolisme sebagai tambahan untuk produksi hewan.





**Gambar 44** 12 *Dry matter intake* (DMI) (20 studi dan 46 perlakuan;  $R^2 = 0.007$ ,  $P = 0.65$ ) dan perubahan *live weight gain* (LWG) (12 studi dan 35 perlakuan;  $R^2=0.03$ ,  $P = 0.31$ ) pada ruminansia (sapi potong, sapi perah, domba) diberi pakan mengandung nitrat.

(Sumber: Lee dan Beauchemin 2014)

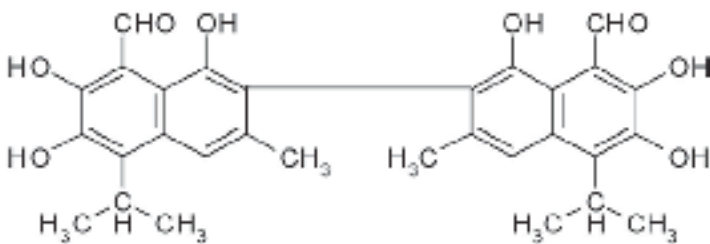


# BAB 11

## GOSIPOL

### 11.1 Struktur Kimia Gosipol

Gosipol adalah senyawa fenolik yang pertama kali diisolasi tahun 1899. Nama ini berasal dari nama ilmiah genus tumbuhan (*Gossypium*) dikombinasikan dengan akhiran “ol” dari fenol. Gosipol memiliki berat molekul 518,55 Dalton, memiliki pigmen kuning, kristal, tidak larut dalam air dan heksana, namun larut dalam aseton, kloroform, eter, dan metil etil keton (butanon), dan sebagian larut dalam minyak sayur. Formula kimianya adalah  $C_{30}H_{30}O_8$ , dengan struktur 2,2-bis (8-formyl-1,6,7-trihydroxy-5-isopropyl-3-methylnaphthalene) (Gambar 45).



**Gambar 45** Struktur gosipol

Gosipol diproduksi oleh kelenjar pigmen di batang kapas, daun, biji, dan kuncup bunga. Kelenjar ini berupa bintik-bintik hitam kecil tersebar di seluruh tanaman kapas. Kelenjar pigmen ini paling banyak terdapat dalam biji. Benih dari *G. barbadense* dapat mengandung hingga 34 g gosipol/kg. Gosipol memiliki beberapa efek toksik pada vertebrata tetapi memberi tanaman kapas ketahanan terhadap hama. Kelenjar pigmen menghasilkan

pigmen fenolik tambahan. Gosipol adalah campuran dari dua enansiomer, yakni (-) dan (+). Enansiomer gosipol (-) lebih lambat dihilangkan, meskipun itu adalah bentuk yang paling aktif secara biologis. Akibatnya, enansiomer (-) lebih beracun daripada enansiomer (+).

## 11.2 Gosipol dalam Produk Kapas

Terdapat dua jenis gosipol yakni gosipol bebas (larut di dalam 70% aseton) dan gosipol terikat. Gosipol terikat diproduksi melalui ikatan kovalen gosipol dan gugus epsilon-amino bebas dari lisin dan arginin melalui reaksi pencokelatan atau reaksi Maillard. Gosipol terikat akan bereaksi dengan 3-amino-1-propanol dalam larutan dimethylformamide untuk membentuk kompleks diaminopropanol. Kompleks ini kemudian bereaksi dengan anilin menghasilkan dianilinosipol. Metode ini dapat diterapkan pada biji kapas yang dideportasi, biji kapas dengan dan tanpa kelenjar, tepung biji kapas, biji kapas matang, kue biji kapas, makanan biji kapas, dan minyak biji kapas.

Sementara itu, gosipol bebas merupakan gosipol yang larut dalam 70% aseton. Gosipol ini bereaksi dengan tiourea dan anilin dalam kondisi asam memberikan kompleks oranye kekuningan, yang diukur pada 440 nm. Metode ini dapat diterapkan pada biji kapas, makanan biji kapas, lempengan biji kapas, dan kue ukuran (kue kecil). Total produksi gosipol dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk kondisi cuaca dan spesies kapas. Mengingat kondisi cuaca, produksi gosipol berkorelasi positif dengan tingkat curah hujan dan berkorelasi negatif dengan suhu. Mengenai variasi di antara spesies kapas, *G. barbadense* memiliki konsentrasi gosipol yang lebih tinggi daripada *G. hirsutum*.

Kandungan gosipol bebas dalam biji kapas bervariasi yakni berkisar antara 0,02–6,64%. Biji kapas mengandung konsentrasi gosipol lebih besar dibanding bagian kapas lainnya. Konsentrasi gosipol pada biji kapas berkisar 14.000 mg/kg total gosipol dan 7.000 mg/kg gosipol bebas. Selain efek berbahaya, gosipol dan turunannya memiliki potensi penggunaan terapeutik. Senyawa ini menunjukkan tindakan *in vitro* terhadap beberapa virus pada manusia seperti virus imunodefisiensi, virus influenza H5N1, dan beberapa bakteri serta ragi. Gosipol memiliki potensi pengobatan untuk leukemia, limfoma, usus besar karsinoma, kanker payudara, mioma, dan kanker prostat. Pada 1970, gosipol digunakan untuk mengobati fibroid rahim, endometriosis, dan perdarahan uterus pada wanita di Cina.

## 11.3 Toksikokinetik Gosipol

Tingkat penyerapan gosipol berbanding terbalik dengan jumlah zat besi dalam makanan. Dalam ruminansia, fermentasi mikroba dalam rumen mengikat makanan yang mengandung gosipol bebas dengan protein. Gosipol yang diserap terakumulasi di hati dan ginjal. Ekskresi gosipol primer melalui empedu, kemudian dihilangkan melalui kotoran setelah konjugasi dengan glucuronides dan sulfat. Pada tikus yang diberi dosis oral 5 mg dari kedua bentuk rasemat gosipol, 70,4% gosipol (+) dan 80,2% gosipol (-) diekskresikan dalam tinja dalam waktu lima hari. Sementara 2,30% gosipol (+) dan 2,79% gosipol (-) diekskresikan dalam urin. Gosipol yang terserap dalam tubuh dapat menyebabkan kerusakan organ hati. Berikut merupakan tabel hasil studi eksperimental yang menunjukkan kerusakan hati disebabkan oleh gosipol dengan mengikuti dosis intravena tunggal.

**Tabel 9** Hasil studi eksperimental yang menunjukkan kerusakan hati disebabkan oleh gosipol

Hewan	Dosis gosipol	Jalan masuk	Durasi pengobatan
Ayam pedaging	0,4% total gosipol dalam makanan	Oral	20 hari
Ayam	0,1% gosipol bebas dalam makanan	Oral	20 hari
Tikus	25 mg/kg BW	Intraperitoneal	Dosis tunggal
Tikus	30 mg/kg BW	Intraperitoneal	Dosis tunggal
Tikus	5,10 dan 20 mg/kg BW	Intraperitoneal	10 hari

## 11.4 Keracunan Gosipol

Biji kapas mengandung konsentrasi gosipol yang cukup tinggi untuk menghasilkan keracunan akut. Keracunan gosipol telah dilaporkan pada banyak spesies, termasuk pada ayam broiler, babi, anjing, domba, dan kambing. Sementara itu, hewan monogastrik, seperti burung, ikan, dan hewan pengerat, lebih rentan terhadap toksisitas gosipol dari ruminansia. Tanda-tanda umum toksisitas akut gosipol pada hewan di antaranya gangguan pernapasan, kenaikan berat badan, anoreksia, kelemahan, apatis, dan kematian setelah beberapa hari. Gosipol juga memengaruhi metabolisme tiroid. Beberapa penelitian terhadap tikus jantan dan betina menunjukkan

penurunan konsentrasi T<sub>4</sub> dan T<sub>3</sub> dalam darah setelah pemberian dosis dengan gosipol. Di sisi lain, dosis gosipol dihasilkan dalam peningkatan konsentrasi serum T<sub>3</sub> tanpa memengaruhi T<sub>4</sub> di tikus dan domba. Tanda-tanda klinis tertentu dari keracunan gosipol dikaitkan dengan berkurangnya antioksidan dalam jaringan dan meningkatnya pembentukan spesies oksigen reaktif, yang menghasilkan lipid peroksidasi. Pada konsentrasi tinggi, gosipol juga mengganggu pembangkitan energi dari metabolisme oksidatif dengan mengganggu aktivitas enzimatis dalam mitokondria, rantai transpor elektron dan fosforilasi oksidatif.

## 11.5 Imunotoksitas

Gosipol dapat menyebabkan berkurangnya jumlah leukosit, terutama limfosit, yang dapat memengaruhi imunokompetensi organisme. Eksperimen tikus *in vivo* dan *in vitro* juga menunjukkan bahwa gosipol memiliki aktivitas immunosupresif yang beroperasi dengan memengaruhi limfosit melalui penghambatan proliferasi dan penginduksian apoptosis. Tikus yang menerima gosipol mengalami penurunan jumlah limfosit yang signifikan. Selain itu, gosipol juga memengaruhi tingkat kesuburan hewan baik jantan maupun betina.

## 11.6 Prosedur Pencegahan

Prosedur pencegahan pada saat ini melibatkan perawatan produk biji kapas untuk mengurangi konsentrasi gosipol bebas melalui penggunaan panas dan tekanan dalam pengolahan produk kapas. Arahan dari Eropa Union (2002L0032 - EN - 26.02.2013 - 017.001) menyatakan bahwa konsentrasi gosipol bebas maksimum untuk biji kapas adalah 5.000 ppm dan 1.200 ppm untuk makanan atau kue yang terbuat dari biji kapas. Sementara itu, untuk makanan lengkap dibatasi sebanyak 20 ppm untuk ayam petelur dan anak babi, 60 ppm untuk kelinci dan babi, 100 ppm untuk unggas, dan 500 ppm untuk sapi, domba, serta kambing. Pemrosesan termasuk perlakuan panas dan proses ekstrusi dapat mengurangi konsentrasi gosipol bebas di biji kapas. Namun, mungkin saja konjugat terbentuk dapat melepaskan gosipol bebas selama pencernaan. Beberapa jamur dapat mengurangi konsentrasi gosipol bebas dalam makanan biji kapas dengan fermentasi, termasuk *Aspergillus*

*niger*, *Aspergillus oryzae*, *Candida tropicalis*, *Saccharomyces cerevisiae*, dan *Geotrichum candidum*. Selain itu, suplementasi makanan dengan besi sulfat dapat mengurangi konsentrasi gosipol bebas dalam makanan karena pengikatan besi sulfat dengan kelompok reaktif dari gosipol. Nutrisi tambahan dapat digunakan untuk suplemen makanan untuk mengurangi ketersediaan gosipol.



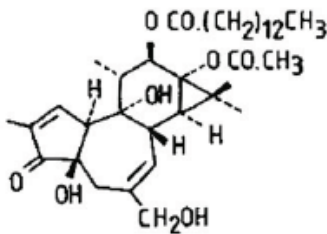
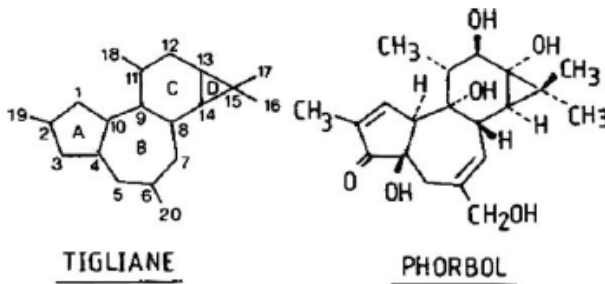


# BAB 12

## FORBOL ESTER

### 12.1 Struktur Kimia Forbol Ester

Struktur forbol ester tergantung pada tetrasiklik kerangka karbon diterpen yang dikenal sebagai tigliane. Tigliane adalah bagian alkohol mendasar di forbol ester. Tigliane berisi empat cincin yang ditetapkan sebagai A, B, C, dan D (Gambar 46).



**Gambar 46** Struktur kimia forbol ester

Hidroksilasi struktur dasar pada posisi yang berbeda kemudian membentuk ikatan ester ke berbagai gugus asam menghasilkan pembentukan varietas besar senyawa forbol ester. Forbol mengandung lima gugus hidroksil dengan reaktivitas yang berbeda terhadap asilasi. Cincin A ada di sebelah kiri dan trans terhubung ke 7 anggota cincin B. Cincin C beranggotakan 6 orang dan terhubung dengan siklopentana D ring. Dua kategori phorbol,  $\alpha$  dan  $\beta$ , berbeda dalam kelompok OH mereka di cincin C. Penempatan kelompok OH membuat phorbol tipe aktif ( $\beta$ ) atau tidak aktif ( $\alpha$ ). Struktur forbol dikenal sebagai 12-O (N-methylaminobenzoyl) 13-O-asetil 14-deoksi phorbol. Senyawa itu ditemukan menjadi agen proinflamasi yang bekerja cepat pada kulit mamalia.

Forbol ester aktif, TPA (4 $\beta$ -12-O-tetradecanoylphorbol-13-asetat), pertama kali ditemukan di tanaman puring, semak di Asia Tenggara. Tanaman yang mengandung forbol ester pada konsentrasi tinggi adalah tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas*). Forbol ester bersifat toksik pada berbagai spesies hewan seperti domba, kambing, sapi, ayam, ikan, dan bahkan manusia. Senyawa ini bersifat karsinogenik, mutagenik, dan mendorong pertumbuhan tumor.

## 12.2 Potensi Pertumbuhan Tumor

Forbol itu sendiri tidak menyebabkan tumor tetapi mempromosikan pertumbuhan tumor setelah paparan dosis subkarsinogenik sesuatu yang menyebabkan kanker. Dengan demikian forbol dapat disebut sebagai *cocarcinogens*. *Cocarcinogenic* dari senyawa ini diproduksi oleh *Euphorbiaceae* terungkap ketika Berenblum (1941) menemukan puring minyak (*Croton tiglium*) mampu meningkatkan pembentukan tumor ketika diterapkan pada kulit tikus, baik bersama-sama atau secara terpisah.

## 12.3 Toksisitas Forbol Ester

Konsumsi bahan tanaman beracun menyebabkan kematian hewan, mengurangi produksi susu dan reproduksi, serta kontaminasi susu dengan konstituen beracun. Dalam hal ini, keracunan ternak berasal dari konsumsi banyak tanaman genus *Spurge*, *Aleutrites*, *Jatropha*, dan *Mercurialis* telah dilaporkan. Studi toksisitas juga telah dilaporkan untuk manusia, tikus, dan ternak. Toksisitas biji jarak telah dipelajari secara luas pada hewan seperti

kambing, domba, tikus, tikus, dan ikan saat diberi makan dengan *feed* yang mengandung forbol ester. Penurunan kadar glukosa, peningkatan konsentrasi arginase, glutamat, dan oksaloasetat transaminase dalam serum terjadi pada kambing dengan diikuti gejala kekurangan nafsu makan, kekurangan asupan air, diare, dehidrasi, dan efek hemoragik lainnya pada organ tertentu.

## 12.4 Forbol Ester pada Tanaman Jarak

Upaya pemanfaatan limbah pertanian atau hasil samping pertanian sebagai sumber hewan makan sedang marak dikembangkan. Dalam hal ini, tanaman jarak telah mendapat perhatian khusus karena merupakan produk tanaman yang berpotensi untuk digunakan sebagai biofuel, pakan ternak, dan inklusi dalam persiapan obat. Tanaman jarak telah banyak diselidiki sebagai sumber minyak. Kernel benih tanaman mengandung sekitar 60% minyak yang bisa dikonversi menjadi biodiesel dan digunakan sebagai pengganti diesel bahan bakar. Sementara itu, benih yang tersisa setelah ekstraksi minyak sangat baik sebagai sumber nutrisi tanaman. Namun penggunaannya sebagai pakan hewan dicegah karena tingginya konsentrasi antinutrisi pada tanaman jarak.

## 12.5 Manfaat Forbol Ester

Forbol ester adalah pedang bermata dua; selain punya banyak efek negatif pada manusia dan ternak, forbol ester juga memiliki beberapa efek menguntungkan. Beberapa manfaat forbol di antaranya adalah menghambat *human immunodeficiency virus* (HIV) dan memiliki aktivitas antileukemik. Senyawa jatrophone diterpenoid makrosiklik diisolasi dari *Jatropha gossypifolia* (tanaman jarak) menunjukkan aktivitas penghambatan yang signifikan terhadap sel kanker di bawah kondisi *in vitro* dan *in vivo*. Jatrophone juga memiliki aktivitas antileukemik yang signifikan terhadap P-388 leukemia limfositik pada 27 dan 12 mg/kg sitotoksitas (ED50) terhadap kultur sel pada 0,17 $\mu$ g/ml.

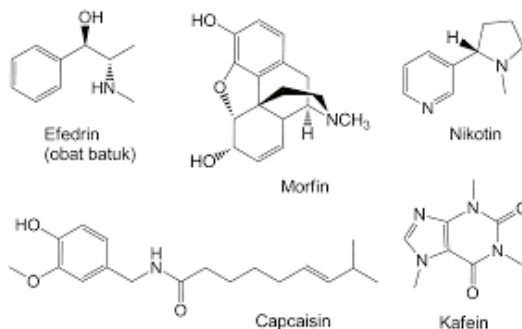


# BAB 13

## ALKALOID

### 13.1 Struktur Kimia Alkaloid

Alkaloid merupakan senyawa organik yang sangat beragam yang mengandung gugus amina sekunder, tersier, atau siklik. Alkaloid mengandung satu atau lebih atom nitrogen dan umumnya merupakan bagian dari sistem siklik. Lebih dari 5.500 senyawa alkaloid sudah diketahui. Banyak alkaloid berada dalam bentuk terpenoid dan sebagiannya lagi adalah steroid (seperti solanin, yakni alkaloid steroid yang terdapat pada kentang). Jenis alkaloid lainnya berupa senyawa aromatik. Alkaloid umumnya bersifat toksik bagi manusia dan memiliki efek fisiologis dan neurologis. Berikut merupakan struktur beberapa senyawa alkaloid.



**Gambar 47** Struktur senyawa alkaloid

### 13.2 Alkaloid pada Tanaman

Beberapa tanaman yang kaya akan alkaloid adalah spesies *Phalaris* sp., *Datura stramonium*, atau rumput gandum hitam (*Lolium perenne* L.), dan terinfeksi oleh endofitik jamur (*Acremonium lolii*). Spesies *Phalaris* sp. mengandung

alkaloid triptamin dan menyebabkan gerbang dari kematian yang mengejutkan. *D. stramonium* mengandung tropana alkaloid seperti hiosciamine. Apabila dikonsumsi, zat ini yang menyebabkan kelumpuhan, detak jantung yang cepat, dan berakhir pada kematian.

Kandungan alkaloid dalam daun atau buah segar ditandai dengan adanya rasa pahit. Rasa pahit tersebut disebabkan oleh zat alkaloid quinin. Zat ini adalah salah satu zat paling pahit yang dikenal dengan konsentrasi pahitnya  $1 \times 10^{-5}$  molar. Secara umum, keluarga angiospermae merupakan tumbuhan yang kaya akan zat ini, tetapi perlu diingat bahwa distribusi alkaloid sangat tidak merata, bahkan ada tumbuhan dengan spesies yang sama namun sama sekali tidak mengandung zat ini. Alkaloid jarang terdapat pada tumbuhan gymnospermae, pakis, lumut, dan tanaman rendah.

### 13.3 Toksisitas Alkaloid

Alkaloid bersifat toksik pada ternak seperti unggas, babi, domba, sapi, dan kuda. Alkaloid pada tubuh hewan berasal dari konsumsi rumput dan biji-bijian yang telah terkontaminasi. Gejala toksik ini di antaranya terjadi gangren (kehilangan bagian tubuh), kejang, aborsi pada hewan hamil, dan kematian. Contoh gejala toksik baru-baru ini adalah terjadinya hipertermia pada ternak, menurunnya produksi susu pada ternak sapi di Afrika Selatan akibat konsumsi kacang yang terkontaminasi *C. cyperi*, dan berkurangnya produksi susu pada babi dan sapi perah di Australia terkait dengan biji sorgum yang terkontaminasi dengan *C. africana*.

### 13.4 Metode analisis alkaloid

Ada berbagai macam metode untuk menentukan kadar alkaloid dalam biji-bijian dan rumput, yakni metode kolorimetri, TLC, *enzyme-linked immunosorbent assay* (ELISA), LCfluorescence, Deteksi LC-elektrokimia, dan LC-massa spektrometri (MS). Alkaloid tidak dapat diidentifikasi dengan metode tunggal, karena secara kimia struktur alkaloid sangat heterogen. Sulit untuk mengidentifikasi alkaloid dari sumber tanaman baru. Namun prosedur penyaringan umum dilakukan, tetapi mungkin gagal mendeteksi senyawa lainnya.

# DAFTAR PUSTAKA

- Babar VS, Chavan JK, Kadam SS. 1988. Effects of heat treatments and germination on trypsin inhibitor activity and polyphenols in jack bean (*Canavalia ensiformis* L. DC). *Plant Foods Hum Nutr.* 38: 319–324.
- Campbell NA, Reece JB. 2008. *Biology - 8th Ed.* California (US): Pearson Education, Inc.
- Chang KC, Harrold RL. 1988. Changes in selected biochemical components, in vitro protein digestibility and amino acids in two bean cultivars during germination. *J Food Sci.* 53: 783–787.
- Cheke PR. 1988. Toxicity and metabolism of pyrrolizidine alkaloids. *J Anim Sci* 66: 2343–2350.
- Crozier A, Clifford MN, Ashihara H. 2006. *Occurrence, Structure and Role in the Human Diet of Plant Secondary Metabolites.* United Kingdom: Blackwell Publishing Ltd.
- Cullen, Katherine E. 2009. *Encyclopedia of Life Science.* New York (US): Facts On File, Inc. <https://damnloveit.blogspot.com/2015/07/enzim.html>
- D'Mello JPF. 1992. Chemical constraints to the use of tropical legumes in animal nutrition. *Animal Feed Science and Technology* 38: 237–261.
- Erlanger BF, Kakowsky N, Cohen W. 1961. The preparation and properties of two new chromogenic substrates for trypsin. *Arch Biochem Biophys.* 95: 271–278.
- Farra PA, Satter LD. 1971. Manipulation of the ruminal fermentation. III. effect of nitrate on ruminal volatile fatty acid production and milk composition. *J. Dairy Sci.* 54: 1018–1024.
- Francis G, Kerem Z, Makkar HPS, Becker K. 2002. The biological action of saponins in animal systems. A review. *British Journal of Nutrition* 88: 587–605.

- Gadelha ICN, Fonseca NBS, Oloris SCS, Melo MM, Blanco BS. 2014. Gossypol toxicity from cottonseed products. A review. *The Scientific World Journal* 10: 1–11.
- Goel G, Makkar HPS, Francis G, Becker K. 2007. Phorbol esters: structure, biological activity, and toxicity in animals. *International Journal of Toxicology* 26: 279–288.
- Hammond AC. 1995. *Leucaena toxicosis* and its control in ruminants. *J Anim Sci* 73: 1487–1492.
- Hulshof RBA, Berndt A, Gerrits WJJ, DijkstraJ, van Zijderveld SM, Newbold JR, Perdok HB. 2012. Dietary nitrate supplementation reduces methane emission in beef cattle fed sugarcane-based diets. *J. Anim. Sci.* 90: 2317–2323.
- Huyen LTN, Quang DH, Preston TR, Leng RA. 2010. Nitrate as fermentable nitrogen supplement to reduce rumen methane production. *Livest. Res. Rural Dev.* 22 [Online] Available: <http://www.lrrd.org/lrrd22/8/huye22146.htm>.
- Jayanegara A, Palupi E. 2010. Condensed tannin effects on nitrogen digestion in ruminants: A meta-analysis from in vitro and in vivo studies. *Media Peternakan*, 33 (3): 176–181.
- Jayanegara A, Sujarnoko TUP, Ridla M, Kondo M, Kreuzer M. 2019. Silage quality as influenced by concentration and type of tannins present in the material ensiled: A meta-analysis. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 103 (2): 456–465.
- Jayanegara A, Wina E, Takahashi J. 2014. Meta-analysis on methane mitigating properties of saponin-rich sources in the rumen: influence of addition levels and plant sources. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 27 (10): 1426–1435.
- Kakade ML, Simon N, Liener IE. 1969. An evaluation of natural versus synthetic substrates for measuring the antitryptic activity of soybean samples. *Cereal Chem.* 46: 518–526.
- Kakade MD, Rackis J J, McGhee JE, Puski G. 1974. Determination of trypsin inhibitor activity of soy products: A collaborative analysis of an improved procedure. *Cereal Chem.* 51: 376–382.



- Lee CH, Beauchemin KA. 2014. Feeding supplementary nitrate to ruminant animals: nitrate toxicity, methane emissions, and production performance. A review. *J Anim Sci* 94: 557–570.
- Li L, Davis J, Nolan J, Hegarty R. 2012. An initial investigation on rumen fermentation pattern and methane emission of sheep offered diets containing urea or nitrate as the nitrogen source. *Anim. Prod. Sci.* 52: 653–658.
- Makkar HPS, Siddhuraju P, Becker K. 2007. Plant Secondary Metabolites. New Jersey (US): Humana Press Inc.
- McSweeney CS, Palmer B, McNeill DM, Krause DO. 2001. Microbial interactions with tannins: nutritional consequences for ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 91 (1-2): 83–93.
- Morgavi DP, Forano E, Martin C, Newbold CJ. 2010. Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *Animal*, 4 (7): 1024–1036.
- Mueller-Harvey I. 2006. Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. A review. *J Sci Food Agric* 86: 2010–2037.
- Nolan JV, Hegarty RS, Hegarty J, Godwin IR, Woodgate R. 2010. Effects of dietary nitrate on fermentation, methane production and digesta kinetics in sheep. *Anim. Prod. Sci.* 50: 801–806.
- Padmaja G. 1995. Cyanide detoxification in cassava for food and feed uses. A review. *Food Science and Nutrition* 35: 299–339.
- Pallauf J, Rimbach G. 1997. Nutritional significance of phytic acid and phytase. *Arch Anim Nutr* 50: 301–319.
- Rahman MM, Abdullah RB, Wan Khadijah WE. 2012. Oxalate poisoning in domestic animals: tolerance and performance aspects. A review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 10: 1–10.
- Randel RD, Chase Jr CC, Wyse SJ. 1992. Effects of gossy and cottonseed products on reproduction of mammals. *J Anim Sci* 70: 1628–1638.

- Sar C, Mwenya B, Pen B, Takaura K, Morikawa R, Tsujimoto A, Kuwaki K, Isogai N, Shinzato I, Asakura Y, Toride Y, Takahashi J. 2005. Effect of ruminal administration of *Escherichia coli* wild type or a genetically modified strain with enhanced high nitrite reductase activity on methane emission and nitrate toxicity in nitrate-infused sheep. *Br. J. Nutr.* 94: 691–697.
- Sar C, Santoso B, Mwenya B, Gamo Y, Kobayashi T, Morikawa R, Kimura K, Mizukoshi H, Takahashi J. 2004. Manipulation of rumen methanogenesis by the combination of nitrate with beta 1-4 galacto-oligosaccharides or nisin in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 115: 129–142.
- Savelkoul FHM, Van Der Poel AFB, Tamminga S. 1992. The presence and inactivation of trypsin inhibitors, tannins, lectins and amylase inhibitors in legume seeds during germination. A review. *Plant Foods for Human Nutrition* 42: 71–85.
- Scott PM. 2009. Ergot alkaloids: extent of human and animal exposure. *World Mycotoxin Journal* 2: 141–149.
- Selle PH, Ravindran V, Caldwell RA, Bryden WL. 2000. Phytate and phytase: consequences for protein utilisation. *Nutrition Research Reviews* 13: 255–278.
- Shah B, Seth AK. 2010. *Textbook of Pharmacognosy and Phytochemistry*. India: Elsevier.
- Shim YY, Gui B, Arnison PG, Wang Y, Reaney MJT. 2014. Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) bioactive compounds and peptide nomenclature: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 38 (1): 5–20.
- Subbulakshmi G, GaneshKumar K, Venkataraman LV. 1976. Effect of germination on the carbohydrates, proteins, trypsin inhibitor, amylase inhibitor and hemagglutinin in horse- gram and mothbean. *Nutr Rep Int.* 13: 19–31.
- Tan-Wilson AL, Rightmire BR, Wilson KA. 1982. Different rates of metabolism of soybean proteinase inhibitors during germination. *Plant Physiol.* 70: 493–497.
- Tripathi MK, Mishra A. 2007. Glucosinolates in animal nutrition. A review. *Animal Feed Science and Technology* 132: 1–27.

- van Zijderveld SM, Gerrits WJJ, Apajalahti JA, Newbold JR, Dijkstra J, Leng RA, Perdok HB. 2010. Nitrate and sulfate: Effective alternative hydrogen sinks for mitigation of ruminal methane production in sheep. *J. Dairy Sci.* 93: 5856–5866.
- van Zijderveld SM, Gerrits WJJ, Dijkstra J, Newbold JR, Hulshof RBA, Perdok HB. 2011. Persistency of methane mitigation by dietary nitrate supplementation in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94: 4028–4038.
- Vetter J. 2000. Plant cyanogenic glycosides. *Toxicon* 38: 11–36.
- Wink M. 2010. *Function and Biotechnology of Plant Secondary Metabolites*. United Kingdom: Blackwell Publishing Ltd.



## PROFIL PENULIS



### **Dr Anuraga Jayanegara, SPt, MSc**

Dr Anuraga Jayanegara, SPt, MSc dilahirkan di Bojonegoro pada tanggal 2 Juni 1983. Pendidikan sarjana (S-1) ditempuh di Fakultas Peternakan IPB dan lulus pada tahun 2003. Saat lulus sarjana beliau masih berusia 19 tahun dan dinobatkan sebagai lulusan terbaik IPB dengan meraih IPK tertinggi. Pendidikan S-2 ditempuh di University of Hohenheim, Jerman, pada kurun waktu 2006–2008 dengan beasiswa dari Pemerintah Jerman (DAAD). Pendidikan S3 diselesaikan di salah satu universitas top dunia, yakni Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETH Zurich) dalam tempo 2 tahun 9 bulan. Disertasinya dianugerahi penghargaan sebagai salah satu disertasi terbaik oleh Society of Nutritional Physiology-Schaumann Stiftung, Jerman. Bidang kajian riset utamanya adalah eksplorasi, pengolahan, dan pemanfaatan senyawa metabolit sekunder tanaman sebagai aditif pakan untuk meningkatkan produktivitas, menurunkan emisi gas metana, dan meningkatkan profil asam lemak tak jenuh ganda pada produk ternak ruminansia.



### **Dr Ir Muhammad Ridla, MAgr**

Dr Ir Muhammad Ridla, MAgr dilahirkan di Bandung pada tanggal 6 Desember 1963. Pendidikan sarjana (S-1) diselesaikan di Fakultas Peternakan IPB pada tahun 1987. Pada tahun 1993 beliau menyelesaikan program S-2 di Okayama University, Jepang. Pendidikan S-3 juga ditempuh di universitas yang sama dan lulus pada tahun 1998 dengan topik penelitian mengenai ilmu dan teknologi silase.

Dr Ir Muhammad Ridla, MAgr pernah dipercaya menjadi Ketua Departemen Ilmu Nutrisi dan Makanan Ternak serta Ketua Program Studi Pascasarjana Peternakan IPB.



### **Prof Dr Ir Erika B. Laconi, MS**

Prof Dr Ir Erika B. Laconi, MS lahir di Teluk Betung pada tanggal 16 September 1961. Pendidikan sarjana (S-1) diselesaikan pada tahun 1984 di Fakultas Peternakan IPB. Pendidikan S-2 dan S-3 diselesaikan di IPB pada tahun 1992 dan 1998. Sebelum memulai karirnya sebagai dosen, beliau pernah bekerja sebagai nutrisisionis di PT Anwar Sierad selama 2 tahun. Bidang keahlian utama beliau adalah kebijakan dan

pengawasan mutu pakan. Sejak tahun 2010 beliau diangkat sebagai Guru Besar Fakultas Peternakan IPB. Saat ini beliau diberikan amanah sebagai Wakil Rektor Bidang Inovasi, Bisnis, dan Kewirausahaan IPB.



### **Prof Dr Ir Nahrowi, MSc**

Prof Dr Ir Nahrowi, MSc lahir di Jakarta pada tanggal 25 April 1962. Pendidikan sarjana (S-1) ditempuh di Fakultas Peternakan IPB pada tahun 1980 hingga 1984. Pendidikan S-2 ditempuh di Uppsala University, Swedia, dan lulus pada tahun 1990. Adapun pendidikan S-3 beliau diselesaikan dari Ehime University, Jepang, pada tahun 1995. Keahlian utama Prof Dr Ir Nahrowi, MSc adalah pada bidang

teknologi pengolahan pakan. Sejak tahun 2010 beliau diangkat sebagai Guru Besar Fakultas Peternakan IPB. Beliau pernah diberikan amanah sebagai Ketua Departemen Ilmu Nutrisi dan Makanan Ternak. Saat ini Prof Dr Ir Nahrowi, MSc merupakan Ketua Senat Akademik Fakultas Peternakan dan Sekretaris Program Magister, Sekolah Pascasarjana IPB.